

NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE

Publication number: JP2000332364

Publication date: 2000-11-30

Inventor: KIDOGUCHI ISAO; ISHIBASHI AKIHIKO; KUME
MASAHIRO; BAN YUZABURO

Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

Classification:

- international: **H01S5/00; H01S5/323; H01S5/343; H01S5/00**; (IPC1-
7): H01S5/343; H01S5/323

- european:

Application number: JP19990135288 19990517

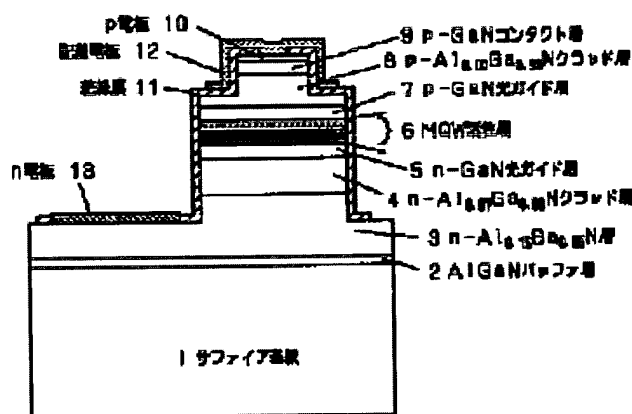
Priority number(s): JP19990135288 19990517

Report a data error here

Abstract of JP2000332364

PROBLEM TO BE SOLVED: To greatly reduce piezo electric field effect, and to obtain a GaN-based semiconductor device with large light-emitting efficiency by performing inclined doping for reducing the concentration of impurities monotonously or in steps to the barrier layer of an MQW active layer.

SOLUTION: A buffer layer 2 is deposited onto a substrate 1 for increasing temperature, thus sequentially laminating an AlGaIn layer 3, an nAlGaIn cladding layer 4, an nGaIn light guide layer 5, a multiple quantum well(MQW) active layer 6, and a pGaIn contact layer 9. In this case, the concentration of Si that is n-type impurities in the band structure of the MQW active layer 6 and a barrier layer is reduced from $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ or the like successively or in steps. Also, doping is made merely at the side of the substrate (an n-cladding side). In either case, it is important that the concentration of the Si at the n-cladding side is high. Doping is made in this manner, thus greatly and effectively canceling a piezo electric field being generated by strain.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-332364
(P2000-332364A)

(43) 公開日 平成12年11月30日 (2000.11.30)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 S 5/343
5/323

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

テームコード* (参考)

6 7 7 5 F 0 7 3
6 7 3

審査請求 有 請求項の数10 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号

特願平11-135288

(22) 出願日

平成11年5月17日 (1999.5.17)

(71) 出願人 000003821

松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 木戸口 勲

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72) 発明者 石橋 明彦

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(74) 代理人 10009/445

弁理士 岩橋 文雄 (外2名)

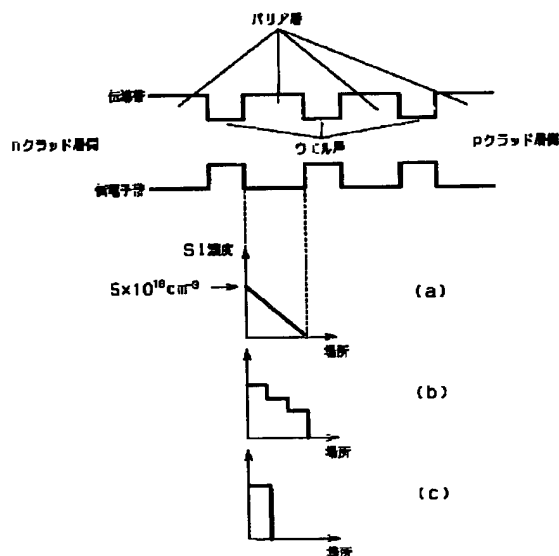
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【課題】 発光効率の高いGaN系半導体レーザを提供する。

【解決手段】 サファイア基板上にn-クラッド層、MQW活性層、p-クラッド層が積層されており、さらに、MQW活性層のバリア層に傾斜ドーピングを施しており、その結果、圧縮応力によって発生するピエゾ電界効果を効果的に低減でき、発光効率の大きな窒化物半導体素子を得ることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層と、該活性層を挟むクラッド層とを備えた窒化物半導体素子であって、該活性層がバリア層とウエル層からなる多重量子井戸構造であり、該バリア層には不純物が添加されており、該不純物の濃度がバリア層内で徐々に減少している窒化物半導体素子。

【請求項2】 活性層と、該活性層を挟むクラッド層とを備えた窒化物半導体素子であって、該活性層がバリア層とウエル層からなる多重量子井戸構造であり、該バリア層には不純物が添加されており、該不純物の濃度がバリア層内で階段状に変化している窒化物半導体素子。

【請求項3】 活性層と、該活性層を挟むクラッド層とを備えた窒化物半導体素子であって、該窒化物半導体結晶の最表面が窒素面となっており、該窒化物半導体素子の多重量子井戸活性層のバリア層にn型不純物が、nクラッド側が多くなるように添加してある窒化物半導体素子。

【請求項4】 活性層と、該活性層を挟むクラッド層とを備えた窒化物半導体素子であって、該窒化物半導体結晶の最表面が窒素面となっており、該窒化物半導体素子の多重量子井戸活性層のバリア層にp型不純物が、pクラッド側が多くなるように添加してある窒化物半導体素子。

【請求項5】 活性層と、該活性層を挟むクラッド層とを備えた窒化物半導体素子であって、該活性層がバリア層とウエル層からなる多重量子井戸構造であり、該ウエル層には不純物が添加されており、該不純物の濃度がウエル層内で徐々に減少している窒化物半導体素子。

【請求項6】 活性層と、該活性層を挟むクラッド層とを備えた窒化物半導体素子であって、該活性層がバリア層とウエル層からなる多重量子井戸構造であり、該ウエル層には不純物が添加されており、該不純物の濃度がウエル層内で階段状に変化している窒化物半導体素子。

【請求項7】 活性層と、該活性層を挟むクラッド層とを備えた窒化物半導体素子であって、該窒化物半導体結晶の最表面が窒素面となっており、該窒化物半導体素子の多重量子井戸活性層のウエル層にn型不純物が、pクラッド側が多くなるように添加してある窒化物半導体素子。

【請求項8】 活性層と、該活性層を挟むクラッド層とを備えた窒化物半導体素子であって、該窒化物半導体結晶の最表面が窒素面となっており、該窒化物半導体素子の多重量子井戸活性層のウエル層にp型不純物が、nクラッド側が多くなるように添加してある窒化物半導体素子。

【請求項9】 n型不純物がシリコンである請求項3または請求項7に記載の窒化物半導体素子。

【請求項10】 p型不純物がマグネシウムである請求項4または請求項8に記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光情報処理分野などへの応用が期待されている半導体レーザなどのGa_{0.5}N系半導体発光素子および製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】V族元素に窒素(N)を有する窒化物半導体は、そのバンドギャップの大きさから、短波長発光素子の材料として有望視されている。中でも窒化ガリウム系化合物半導体(GaN系半導体:Al_xGa_yIn_zN(0≤x, y, z≤1, x+y+z=1))は研究が盛んに行われ、青色発光ダイオード(LED)、緑色LEDが実用化されている。また、光ディスク装置の大容量化のために、400nm帯に発振波長を有する半導体レーザが熱望されており、GaN系半導体を材料とする半導体レーザが注目され現在では実用レベルに達しつつある。

【0003】図4はレーザ発振が達成されているGaN系半導体レーザの構造断面図である。サファイア基板401上に有機金属気相成長法(MOVPE法)によりGaNバッファ層402、n-GaN層403、n-AlGa_{1-x}Nクラッド層404、n-GaN光ガイド層405、Ga_{1-x}In_xN/Ga_{1-y}In_yN(0<y<x<1)から成る多重量子井戸(MQW)活性層406、p-GaN第2光ガイド層407、p-AlGa_{1-x}Nクラッド層408、p-GaNコンタクト層409が成長される。そしてp-GaNコンタクト層409上に幅3ミクロン程度の幅のリッジストライプが形成され、その両側はSiO₂411によって埋め込まれる。その後リッジストライプおよびSiO₂411上に例えばNi/Auから成るp電極410、また一部をn-GaN層403が露出するまでエッチングした表面に例えばTi/Alから成るn電極412が形成される。本素子においてn電極412を接地し、p電極410に電圧を印加すると、MQW活性層406に向かってp電極410側からホールが、またn電極412側から電子が注入され、前記MQW活性層406内で光学利得を生じ、発振波長400nm帯のレーザ発振を起こす。MQW活性層406の材料であるGa_{1-x}In_xN/Ga_{1-y}In_yN薄膜の組成や膜厚によって発振波長は変化する。現在室温以上での連続発振が実現されている。

【0004】このレーザはリッジストライプの幅と高さを制御することによって、水平方向の横モードにおいて基本モードでレーザ発振するような工夫が成される。すなわち、基本横モードと高次モード(1次以上のモード)の光閉じ込め係数に差を設けることで、基本横モードでの発振を可能としている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】MQW活性層のウエル層には、面内に水平方向に圧縮歪み加わっている。窒化物半導体は圧電効果の大きい材料であり、圧縮歪みが

加わることによって内部電界が生じる（ピエゾ電界効果という）。例えばサファイア基板上に成長させたGaN系半導体では、結晶の最表面が窒素面となり、結晶表面からサファイア基板に向けて内部電界（ピエゾ電界）が発生する。図4に示すGaN系半導体レーザでは図5に示す方向に電界が生じることになる。

【0006】この内部電界によって、バンドはウエル層内で図5に示すように傾く。その結果、電子と正孔（ホール）が空間的に分離され、発光効率が低下する。

【0007】GaN系発光素子では、最近になってSiを活性層に添加するという方法がとられるようになった。Siのドーピングはキャリア（電子）をウエル層に分布させることで、スクリーニング効果によって内部電界を打ち消す方向に作用する。しかしながら、内部電界を完全に打ち消すことは難しく、課題が残されている。

【0008】本発明は上記の事情を鑑みてなされたものであり、ピエゾ電界効果を大きく低減でき、発光効率の大きなGaN系半導体素子を提供するものである。特に光ディスク用レーザへの応用において効果的である。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明のGaN系半導体素子は、MQW活性層のバリア層に、不純物濃度が単調にまたは段階的に減少するような傾斜ドーピングを施してある。

【0010】また、本発明の窒化物半導体素子は、結晶の最表面が窒素面となっており、MQW活性層のバリア層にn型不純物が、nクラッド側が多くなるように添加してある。

【0011】また、本発明の窒化物半導体素子は、MQW活性層のバリア層にp型不純物が、pクラッド側が多くなるように添加してある。

【0012】また、本発明のGaN系半導体素子は、MQW活性層のウエル層に、不純物濃度がウエル層内で徐々に減少している傾斜ドーピングを施しており、圧縮応力によって発生するピエゾ電界効果を効果的に低減でき、発光効率の大きな窒化物半導体素子を得ることができ。

【0013】また、本発明のGaN系半導体素子は、結晶の最表面が窒素面となっており、MQW活性層のウエル層にn型不純物が、pクラッド側が多くなるように添加してある。

【0014】また、本発明のGaN系半導体素子は、MQW活性層のウエル層にp型不純物が、nクラッド側が多くなるように添加してある。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を用いて詳細に説明する。本発明の製造方法は、窒化物半導体の成長方法はMOVPE法に限定するものではなく、ハイドライド気相成長法（H-VPE法）や分子線エピタキシー法（MBE法）など、窒化物半導体

層を成長させるためにこれまで提案されている全ての方法に適用できる。

【0016】（実施の形態1）図1は本発明の実施例を示すGaN系半導体レーザの構造断面図である。図1に示すレーザの作製方法は以下の通りである。

【0017】まず、サファイア基板1上に500℃で有機金属とアンモニア（ NH_3 ）とを供給してバッファ層2を堆積する。その後、昇温させて、トリ・メチル・ガリウム（TMG）、モノシラン（ SiH_4 ）、トリ・メチル・アルミニウム（TMA）等を供給してn-Al_{0.15}Ga_{0.85}N層3、n-Al_{0.07}Ga_{0.93}Nクラッド層4、n-GaN光ガイド層5、多重量子井戸（MQW）活性層6、p-GaN光ガイド層7、p-Al_{0.07}Ga_{0.93}Nクラッド層8、p-GaNコンタクト層9が順次積層される。p-GaNコンタクト層9およびp-Al_{0.07}Ga_{0.93}Nクラッド層8は、水平横モードの制御のために、リッジストライプ状に加工されている。ストライプ幅は3〜5ミクロン程度である。p-GaNコンタクト層9上にはp電極10が形成され、リッジの側壁は絶縁膜11で覆われている。絶縁膜11の開口部のp電極10表面と、絶縁膜11の一部には配線電極12が設けられている。また、n-Al_{0.15}Ga_{0.85}N層3の一部が露出するまでエッチングを行った表面には、n電極13が形成されている。

【0018】本素子においてn電極13とp電極10の間に電圧を印加すると、MQW活性層6に向かってp電極10から正孔（ホール）がn電極13から電子が注入され、活性層で利得を生じ、405nmの波長でレーザ発振を起こす。MQW活性層6は厚さ3.5nmのGa_{0.8}In_{0.2}N井戸層と厚さ10nmのGaNバリア層から構成されている。

【0019】図1の素子のMQW活性層のバンド構造とバリア層における不純物の濃度プロファイルを図2に示す。ここでは、n型不純物であるSi（シリコン）を例に示してある。（a）ではSi濃度が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ から連続的に減少している。（b）では階段上に減少している。また、（c）では基板側（nクラッド側）のみドーピングしてある。（a）〜（c）のいずれも場合、nクラッド側のSi濃度が高いということが大切である。このようにドーピングすることで、歪みによって生じるピエゾ電界の打ち消しに大きな効果を発揮する。その結果、図2のバンド構造に示すように、フラット・バンドとなり、発光効率を高い状態に維持することができる。

【0020】サファイア基板を用いる場合は最表面がN面であり、ピエゾ電界がp側からn側に向けて発生するために、図2（a）〜（c）に示すようにnクラッド層側のSi濃度が高くなっている。逆の場合、すなわちGa面の場合には、ドーピング・プロファイルも逆となる。

【0021】また、p型不純物、例えばMgを用いる場合は、図2(a)～(c)に示すプロファイルとは逆、つまりpクラッド層側のMg濃度を高くすることで、ピエゾ電界を効果的に打ち消すことができる。

【0022】本発明では、n型不純物としてSi、p型不純物としてMgを用いた。その理由は、これらのドーパントがGaN系結晶において比較的浅い不純物レベルを形成すること、また、不純物拡散が起こりにくいことから、ピエゾ電界の打ち消しに効果的であるからである。

【0023】本発明では、ピエゾ電界を非常に効果的に打ち消すことができるため、従来のGaN系発光素子に見られた発光効率の低下や、半導体レーザのしきい値電流の増加といった問題が発生せず、良好な特性を有する窒化物半導体素子を得ることができる。特に光ディスク用レーザへの応用において効果的である。

【0024】(実施の形態2) 実施の形態1では、ピエゾ電界の発生を打ち消すことができるためMQW活性層内のバリア層にドーピングを施した場合について述べた。ここでは、ウエル層にドーピングを行なう場合について述べる。

【0025】本素子のMQW活性層のバンド構造とウエル層における不純物の濃度プロファイルを図3に示す。ここでは、n型不純物であるSi(シリコン)を例に示してある。(a)ではSi濃度が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ へ連続的に増加している。(b)では階段上に増加している。また、(c)ではpクラッド側のみドーピングしてある。(a)～(c)のいずれも場合、pクラッド側のSi濃度が高いということが大切である。このようにドーピングすることで、圧縮応力によって生じるピエゾ電界の打ち消しに大きな効果を発揮する。サファイア基板を用いる場合は最表面がN面であり、ピエゾ電界がp側からn側に向けて発生するために、図3(a)～(c)に示すようにpクラッド層側のSi濃度が高くなっている。

【0026】逆の場合、すなわちGa面の場合には、ドーピング・プロファイルも逆となる。

【0027】また、p型不純物、例えばMgを用いる場合は、図3(a)～(c)に示すプロファイルとは逆、つまりnクラッド層側のMg濃度を高くすることで、ピエゾ電界を効果的に打ち消すことができる。

【0028】本発明では、ピエゾ電界を非常に効果的に打ち消すことができるため、従来のGaN系発光素子に見られた発光効率の低下や、半導体レーザのしきい値電流の増加といった問題が発生せず、良好な特性を有する窒化物半導体素子を得ることができる。特に光ディスク用レーザへの応用において効果的である。

【0029】本発明では、GaN系半導体レーザを例に取って説明したが、発光ダイオード等の活性領域を成長させる際にも本発明の効果は大きい。

【0030】また、実施の形態1と実施の形態2は各々説明したが、この2つを組み合わせても本発明の効果は大きいことは言うまでもない。

【0031】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のGaN系半導体素子は、MQW活性層のバリア層に傾斜ドーピングを施すことによって、圧縮応力によって発生するピエゾ電界効果を効果的に低減でき、発光効率の大きな窒化物半導体素子を得ることができる。特に光ディスク用レーザへの応用において効果的である。

【0032】本発明のGaN系半導体素子は、結晶の最表面が窒素面となっており、MQW活性層のバリア層にn型不純物が、nクラッド側が多くなるように添加してある。

【0033】あるいは、本発明のGaN系半導体素子は、MQW活性層のバリア層にp型不純物が、pクラッド側が多くなるように添加してある。このようにドーピングすることで、歪みによって生じるピエゾ電界を非常に効果的に打ち消すことができ、従来のGaN系発光素子に見られた発光効率の低下や、半導体レーザのしきい値電流の増加といった問題が発生せず、良好な特性を有する窒化物半導体素子を得ることができる。

【0034】また、本発明のGaN系半導体素子は、MQW活性層のウエル層に傾斜ドーピングを施しており、圧縮応力によって発生するピエゾ電界効果を効果的に低減でき、発光効率の大きな窒化物半導体素子を得ることができる。

【0035】本発明のGaN系半導体素子は、結晶の最表面が窒素面となっており、MQW活性層のウエル層にn型不純物が、pクラッド側が多くなるように添加してある。

【0036】あるいは、本発明のGaN系半導体素子は、MQW活性層のウエル層にp型不純物が、nクラッド側が多くなるように添加してある。このようにドーピングすることで、歪みによって発生するピエゾ電界を効果的に打ち消すことができ、従来のGaN系発光素子に見られた発光効率の低下や、半導体レーザのしきい値電流の増加といった問題が発生せず、良好な特性を有する窒化物半導体素子を得ることができる。特に光ディスク用レーザへの応用において効果的である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態を示すGaN系半導体レーザの素子断面図

【図2】本発明のMQW活性層のバンド図とバリア層の不純物プロファイルを示した図

【図3】本発明のMQW活性層のバンド図とウエル層の不純物プロファイルを示した図

【図4】従来のGaN系量子井戸半導体レーザの素子断面図

【図5】従来のGaN系量子井戸半導体レーザのMQW

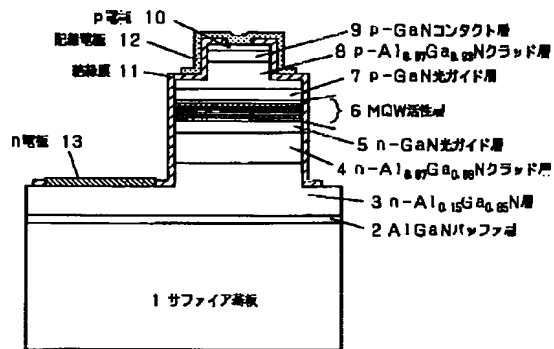
活性層のバンド図

【符号の説明】

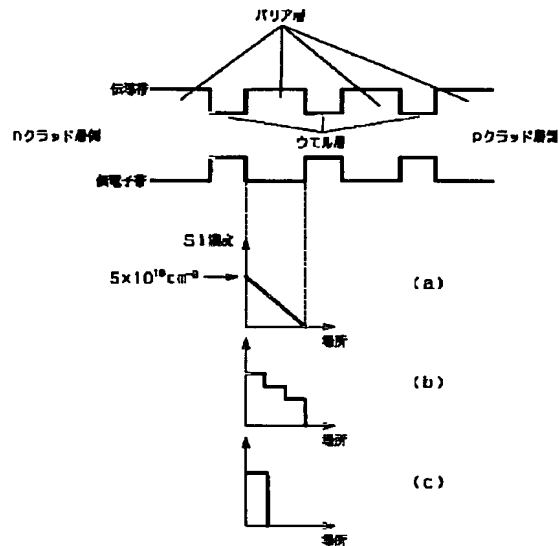
- 1 サファイア基板
- 2 バッファー層
- 3 $n\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層
- 4 $n\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層
- 5 $n\text{-GaN}$ 光ガイド層
- 6 MQW活性層
- 7 $p\text{-GaN}$ 光ガイド層
- 8 $p\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層
- 9 $p\text{-GaN}$ コンタクト層
- 10 p電極
- 11 絶縁膜
- 12 配線電極

- 13 n電極
- 401 サファイア基板
- 402 バッファー層
- 403 $n\text{-GaN}$ 層
- 404 $n\text{-AlGaIn}$ クラッド層
- 405 $n\text{-GaIn}$ 光ガイド層
- 406 MQW活性層
- 407 $p\text{-GaIn}$ 光ガイド層
- 408 $p\text{-AlGaIn}$ クラッド層
- 409 $p\text{-GaIn}$ コンタクト層
- 410 p電極
- 411 SiO_2
- 412 n電極

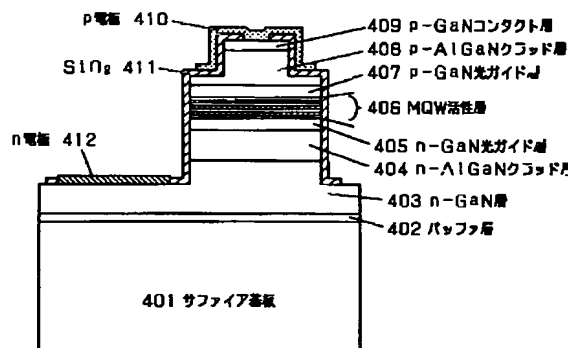
【図1】



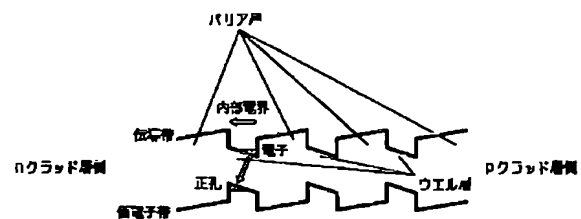
【図2】



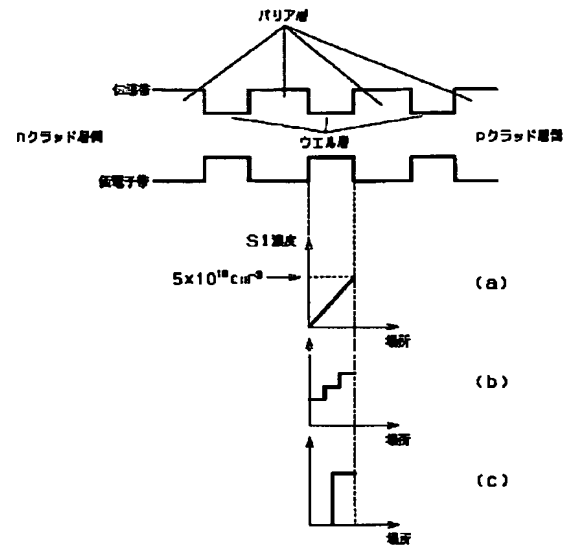
【図4】



【図5】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 桑 雅博
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 伴 雄三郎
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
F ターム(参考) 5F073 AA13 AA45 AA74 BA05 CA07
CB14 EA29

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.